

PERENCANAAN STRUKTUR JEMBATAN SLAB ON PILE SUNGAI BRANTAS DENGAN MENGGUNAKAN METODE PRACETAK PADA PROYEK TOL SOLO – KERTOSONO STA. 176+050 – STA. 176+375

Khrisnawan Arief Wicaksono, Kuni Saadati, Purwanto^{*)}, Sukamta^{*)}

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Jembatan Brantas merupakan jembatan yang termasuk dalam paket pembangunan ruas jalan Tol Solo–Kertosono yang terletak di sungai Brantas, Kecamatan Patianrowo, Kertosono, Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur. Jembatan Brantas memiliki total panjang jembatan sekitar 890 m, untuk perencanaan jembatan yang tergolong panjang ini dibutuhkan beberapa metode yang berbeda-beda dalam perencanaan jembatan tersebut, salah satunya adalah penggunaan metode slab on pile pada bagian jalan pendekat jembatan. Struktur jembatan slab on pile sungai Brantas direncanakan menggunakan elemen pelat dengan sistem beton pracetak prategang. Standar pembebanan pada struktur mengacu pada SNI T-02-2005 (Standar Pembebanan Untuk Jembatan). Analisa dan pemodelan struktur dilakukan pada 3 tahap, yaitu pada saat struktur sudah berfungsi, pada saat pengangkatan elemen pracetak dan yang terakhir pada saat pemasangan elemen pracetak. Analisa struktur dilakukan dengan menggunakan bantuan software SAP2000. Hasil perencanaan menunjukkan bahwa struktur jembatan slab on pile sungai Brantas aman secara analisis.

kata kunci : *Jembatan Slab on Pile, Pracetak, Prategang*

ABSTRACT

Brantas Bridge is a bridge which includes the construction of Solo-Kertosono toll road development located on the river Brantas, District Patianrowo, Kertosono, Nganjuk, East Java. Total length of Brantas bridge about 890 m, for planning this bridge which relatively long, it needs several different methods, one of them is using slab on pile method on the part of approach bridge. The structure of slab on pile bridge of Brantas river planned to use precast prestressed concrete systems for plate elements. Loading standart on the structure refers to the SNI T-02-2005 (Standar Pembebanan Untuk Jembatan). Analysis and modelling structure was done by 3 steps are structure that has already function, when elevation of precast element, and when installation of precast element. The analysis of structure modeling done by support of SAP2000 software. The results of planning show that bridge structure of slab on pile in Brantas river was safe by analysis.

keywords: *slab on pile bridge, precast, prestress*

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

PENDAHULUAN

Saat ini terdapat beberapa jenis material struktur yang biasa digunakan untuk perencanaan jembatan. Jenis material untuk struktur jembatan di Indonesia yang banyak digunakan saat ini adalah jenis jembatan menggunakan material beton. Seiring dengan semakin berkembangnya sistem teknologi beton, maka saat ini telah terdapat beberapa inovasi teknologi beton untuk diterapkan dalam pembangunan struktur jembatan. Inovasi yang saat ini sedang hangat diperbincangkan untuk diterapkan pada pembangunan struktur jembatan salah satunya adalah inovasi penggunaan sistem konstruksi beton pracetak prategang.

Beton adalah material yang kuat dalam kondisi tekan, namun lemah dalam kondisi tarik. Kekuatan tariknya bervariasi antara 8 sampai 14 persen dari kekuatan tekannya. Kekurangan material beton yang lemah dalam tarik ini dapat diatasi dengan memberi tegangan tekan untuk mengurangi tegangan tarik yang timbul pada bagian penampang akibat beban yang bekerja (Nawy, 2001).

Struktur beton prategang didefinisikan sebagai suatu sistem struktur beton khusus dengan cara memberikan tegangan tekan tertentu pada komponen sebelum digunakan untuk mendukung beban luar sesuai dengan yang diinginkan. Pemberian tegangan tekan ini dilakukan dengan memasukkan kabel dari jenis material baja mutu tinggi kedalam beton sebesar gaya penegangan tertentu, kemudian setelah beton mengeras gaya ditransfer ke beton tersebut. Penampang beton yang terjadi bisa seluruhnya tertekan atau hanya sebagian saja yang tertekan tergantung kebutuhan syarat keamanan dan kelayakan atau ketentuan perencanaan lainnya misalnya faktor ekonomi (Dipohusodo, 1999).

Suatu struktur beton prategang harus didesain sedemikian rupa sehingga mempunyai kekuatan *ultimate* yang cukup dan mempunyai kemampuan layan yang sesuai kebutuhan. Pada saat ini paling tidak ada dua metode perencanaan struktur beton prategang, yaitu metode perencanaan berdasarkan teori kekuatan elastik (Perencanaan berdasarkan batas layan) dan teori kekuatan batas (Perencanaan berdasarkan batas kekuatan terfaktor). Hampir semua kelebihan beton prategang adalah pada tingkat beban kerja (batas layan) dan besar gaya prategang umumnya ditentukan oleh tegangan ijin di dalam beton, maka bagian utama hitungan analisa dan perencanaan menggunakan batas layan dan tegangan ijin, namun dalam desain komponen struktur beton prategang analisa berdasarkan kekuatan beban terfaktor tetap diperlukan untuk mengetahui apakah ada kekuatan cadangan yang cukup untuk memikul beban-beban berlebih (*overload*) pada saat komponen mengalami kondisi beban *ultimate* (Lin, 1996).

Perencanaan berdasarkan kekuatan batas layan dilakukan dengan menghitung tegangan yang terjadi dan membandingkan dengan tegangan izin yang bersangkutan. Apabila tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan yang diizinkan maka dinyatakan aman. Pada saat menghitung tegangan, semua beban tidak dikalikan dengan faktor beban. Perencanaan berdasarkan batas layan dilakukan untuk mengantisipasi batas layan yang terdiri dari tegangan kerja, deformasi permanen, dan momen retak. Berdasarkan Manual Perencanaan Struktur Beton Pratekan untuk Jembatan, telah ditentukan batasan tegangan-tegangan yang diijinkan pada struktur beton prategang sebagai berikut:

Tegangan izin pada saat transfer gaya prategang (Bina Marga, 2011):

$$\text{Tegangan ijin tekan (fci)} = -0,6 \times f'c \text{ (MPa)} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Tegangan ijin tarik (fti)} = 0,25\sqrt{f'c} \text{ (MPa)} \dots\dots\dots(2)$$

Tegangan ijin pada saat masa layan:

$$\text{Tegangan ijin tekan (fc)} = -0,45 \times f'c \text{ (MPa)} \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Tegangan ijin tarik (ft)} = 0,5\sqrt{f'c} \text{ (MPa)} \dots\dots\dots(4)$$

Rumus perhitungan tegangan berdasarkan kekuatan batas layan (Bina Marga, 2011):

Pada bagian atas serat:

$$\sigma_{\text{top}} = -\frac{P_{\text{eff}}}{A} + \frac{P_{\text{eff}} \cdot e}{S_t} - \frac{M}{S_t} < \sigma_{\text{ijin}} \dots\dots\dots(5)$$

Pada bagian bawah serat:

$$\sigma_{\text{bot}} = -\frac{P_{\text{eff}}}{A} - \frac{P_{\text{eff}} \cdot e}{S_b} + \frac{M}{S_b} < \sigma_{\text{ijin}} \dots\dots\dots(6)$$

dimana:

P_{eff} = gaya prategang efektif (kN)

E = nilai eksentrisitas tendon prategang (m)

A = luas penampang beton (m^2)

M = gaya momen yang terjadi akibat beban luar (kNm)

S_b = statis momen penampang beton bagian bawah (m^3)

S_t = statis momen penampang beton bagian atas (m^3)

σ_{top} = tegangan pada serat terluar beton bagian atas (MPa)

σ_{bot} = tegangan pada serat terluar beton bagian bawah (MPa)

Perencanaan berdasarkan kekuatan batas terfaktor didasarkan pada batas-batas tertentu yang bisa dilampaui oleh suatu sistem struktur. Setiap batas dinyatakan aman apabila aksi rencana lebih kecil dari kapasitas komponen struktur. Aksi rencana dihitung dengan menggunakan faktor beban, sedangkan kapasitas bahan dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan. Momen nominal pada penampang dapat dihitung menggunakan persamaan (Bina Marga, 2011):

$$M_n = A_{ps} f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f_y \left(\frac{a}{2} - d' \right) \dots\dots\dots(7)$$

dimana:

M_n = momen nominal penampang (kNm)

A_{ps} = luas penampang baja prategang (m^2)

f_{ps} = tegangan nominal baja prategang pada saat runtuh (MPa)

A_s = luas penampang tulangan konvensional (m^2)

f_y = kuat tarik tulangan konvensional (MPa)

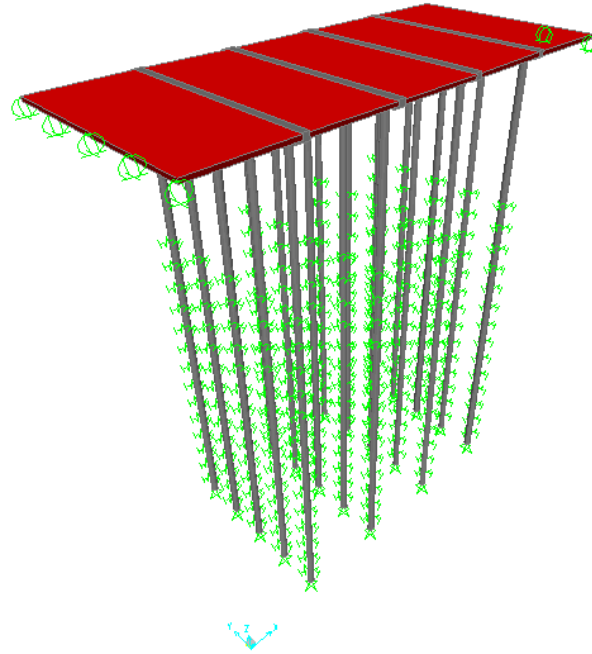
METODE

Pemodelan dan Analisa Struktur

Analisa dan pemodelan struktur dilakukan pada 3 tahap, yaitu pada saat struktur sudah berfungsi, pada saat pengangkatan elemen pelat pracetak prategang dan yang terakhir pada saat pemasangan elemen pelat pracetak prategang. Analisa struktur dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* SAP2000.

1. Pada Saat Struktur Sudah Berfungsi

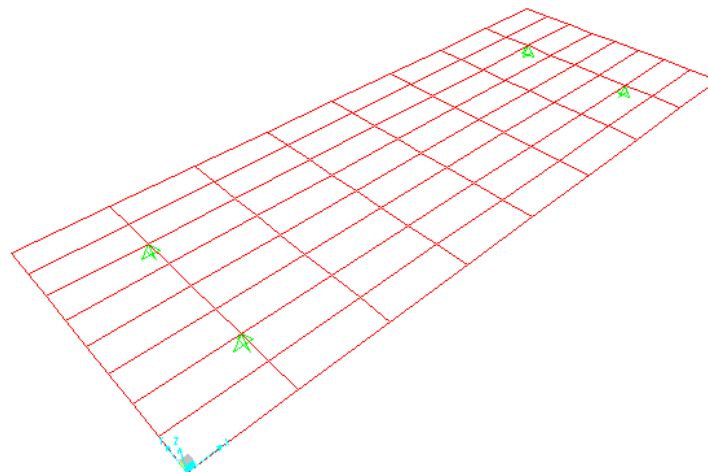
Struktur dimodelkan dan dianalisa per-segmen jembatan yang setiap segmennya dibatasi oleh *expansion joint*. Elemen pelat dimodelkan sebagai elemen *shell*, sedangkan elemen balok dan tiang pancang dimodelkan sebagai elemen *frame*. Tumpuan pada bagian *expansion joint* dimodelkan sebagai tumpuan rol, sedangkan tumpuan pada elemen tiang pancang dimodelkan sebagai tumpuan pegas elastis (*springs*) yang merepresentasikan daya dukung tanah terhadap pondasi tiang pancang.



Gambar 1. Pemodelan struktur pada saat sudah berfungsi

2. Pada Saat Pengangkatan Elemen Pracetak

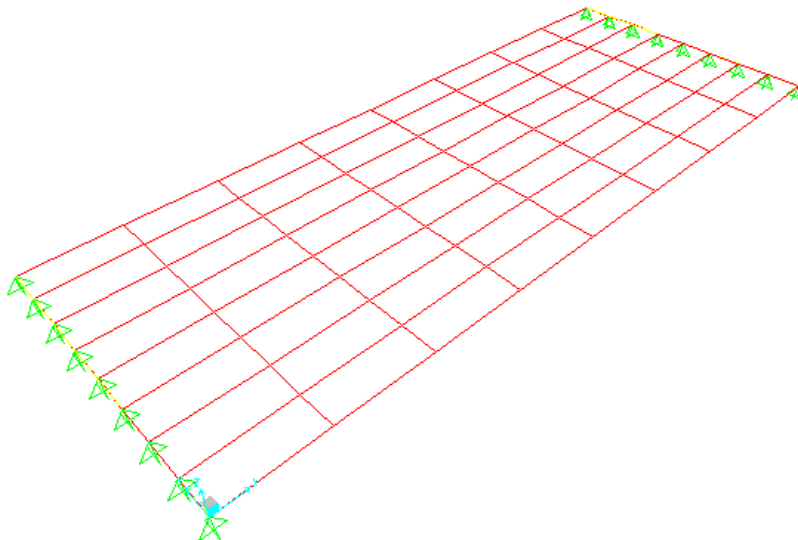
Elemen pelat pracetak dimodelkan sebagai struktur *shell* yang diberi tumpuan sendi di empat titik. Tumpuan tersebut adalah letak titik angkatnya. Peletakan tumpuan dilakukan secara coba-coba untuk mendapatkan nilai momen lapangan dan momen pada titik angkat yang relatif kecil dan sama. Beban yang bekerja pada kondisi ini hanyalah berat sendiri elemen pelat pracetak tersebut yang dihitung secara otomatis oleh *software* SAP2000.



Gambar 2. Pemodelan elemen pelat pracetak pada saat pengangkatan

3. Pada Saat Pemasangan Elemen Pracetak

Elemen pelat pracetak dimodelkan sebagai struktur *shell* yang diberi tumpuan sendi di sepanjang sisi melintang pelat. Beban yang bekerja pada kondisi ini hanyalah berat sendiri elemen pelat pracetak tersebut yang dihitung secara otomatis oleh *software* SAP2000.



Gambar 3. Pemodelan elemen pelat pracetak pada saat pemasangan

Pembebanan Struktur

Beban-beban yang direncanakan akan bekerja pada struktur jembatan *slab on pile* sungai Brantas diperhitungkan berdasarkan tata cara pembebanan yang tercantum pada SNI T-02-2005 (Standar Pembebanan Jembatan). Beban-beban dan kombinasi pembebanan yang diperhitungkan dalam perencanaan struktur jembatan *slab on pile* sungai Brantas adalah:

Tabel 1. Beban rencana yang bekerja pada struktur

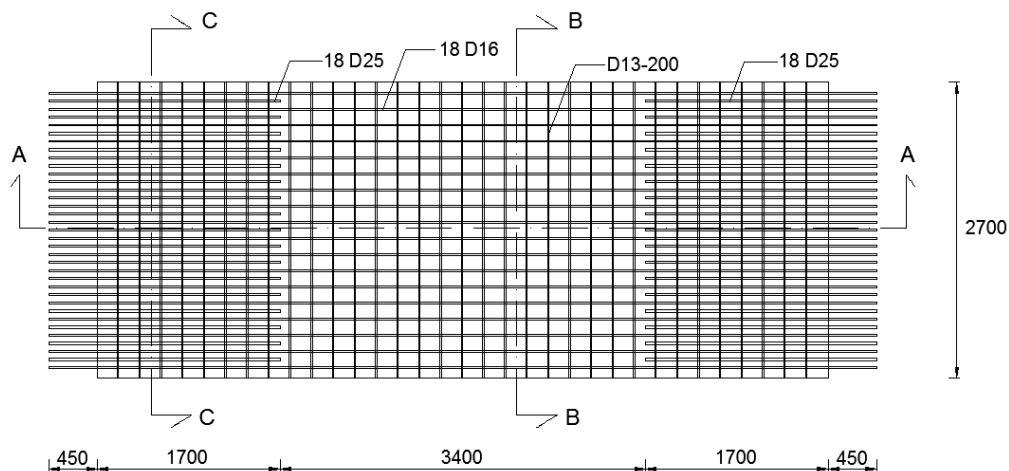
Jenis Beban	Simbol Beban	Besar Beban Pada Struktur
Beban Tetap		
Berat sendiri struktur	K_{MS}	Dihitung otomatis oleh SAP2000
Berat sendiri non struktural	K_{MS}	11,25 kN/m
Beban mati tambahan	K_{MA}	2,69 kN/m ²
Beban Lalu Lintas		
Beban truk	K_{TT}	32,5 kN (roda depan) 146,25 kN (roda tengah dan belakang)
Gaya rem	K_{TB}	12,5 kN (bekerja pada masing-masing <i>joint</i>)
Beban Dinamis		
Beban angin	K_{EW}	1,328 kN/m (pada bagian samping jembatan) 0,74 kN/m (pada permukaan pelat jembatan)
Beban akibat gempa	K_{EQ}	Dihitung otomatis oleh SAP2000 berdasarkan cara analisa dinamik menggunakan spektrum respon desain

Tabel 2. Kombinasi pembebanan struktur

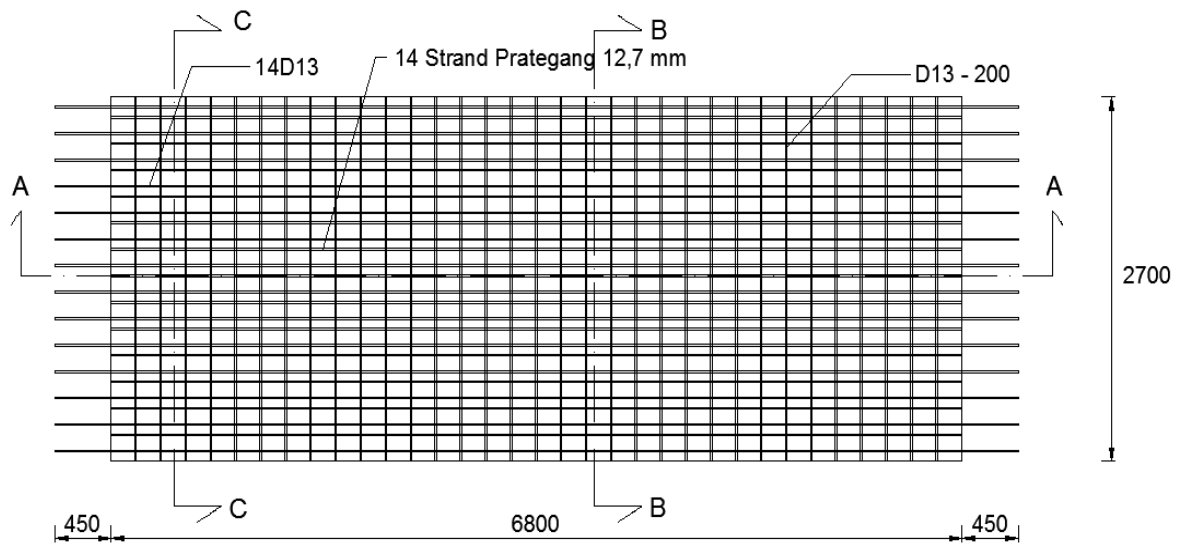
Aksi / Beban	Index Beban	Kombinasi Beban Layan				Kombinasi Beban <i>Ultimate</i>			
		1	2	3	4	5	6	7	8
Beban Tetap									
Berat Sendiri	K _{MS}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,30	1,30	1,30	1,30
Beban Mati Tambahan	K _{MA}	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Beban Lalu-lintas									
Beban Truk	K _{TT}	1,00	1,00			1,80	1,80		
Gaya Rem	K _{TB}	1,00	1,00			1,80	1,80		
Beban Dinamis									
Beban Angin	K _{EW}		1,00				1,20		
Beban Gempa	K _{EQ-X}			1,0 (I/R) Ex	0,3 (I/R) Ex			1,0 (I/R) Ex	0,3 (I/R) Ex
				0,3 (I/R) Ey	1,0 (I/R) Ey			0,3 (I/R) Ey	1,0 (I/R) Ey
	K _{EQ-Y}								

HASIL DAN PEMBAHASAN

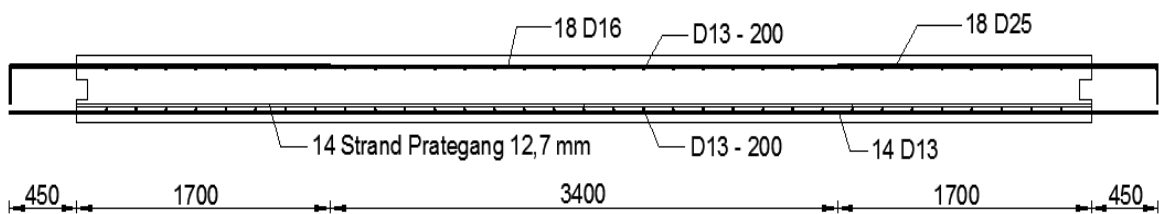
Elemen pelat direncanakan menggunakan jenis pelat pracetak *full slab* dengan sistem penulangan prategang parsial. Sistem prategang direncanakan untuk menahan momen positif yang terjadi di daerah lapangan pada kondisi beban layan, sedangkan untuk menahan momen positif yang terjadi pada kondisi *ultimate* sistem prategang akan dibantu oleh sistem penulangan konvensional. Momen negatif yang terjadi pada daerah tumpuan pelat akan ditahan oleh sistem penulangan konvensional yang diperhitungkan pada kondisi momen *ultimate*. Perhitungan tegangan untuk sistem prategang pada elemen pelat pracetak prategang dianalisis terhadap tiga kondisi, yaitu pada saat pengangkatan, pemasangan dan pada kondisi beban layan. Desain yang dipakai adalah desain yang mampu menahan kombinasi beban yang bekerja dalam semua kondisi tersebut. Berdasarkan hasil analisa didapatkan desain elemen pelat pracetak prategang seperti pada Gambar 4 – Gambar 8:



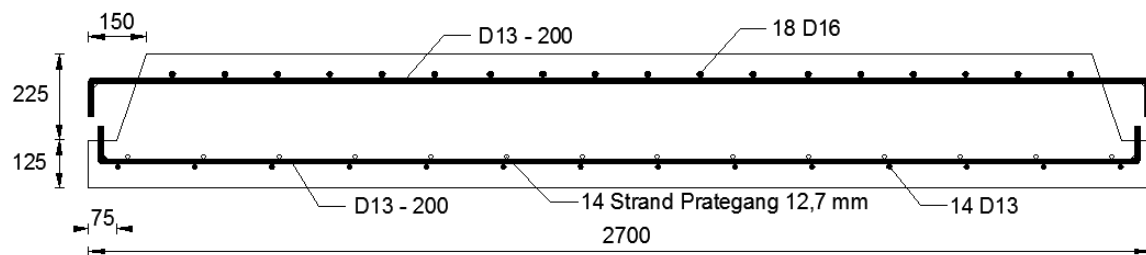
Gambar 4. Detail penulangan elemen pelat pracetak prategang lapisan atas



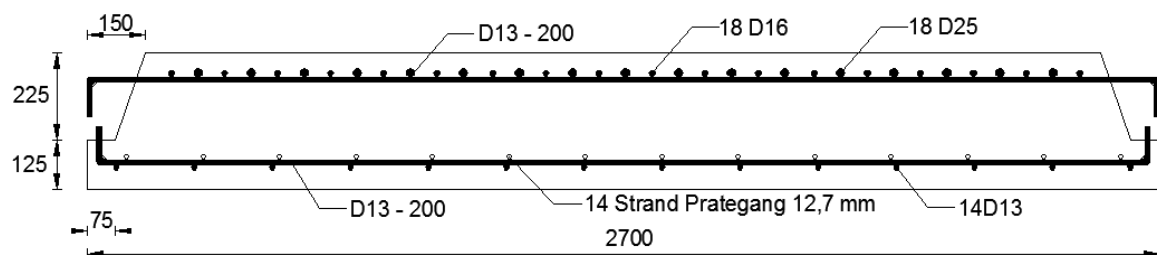
Gambar 5. Detail penulangan elemen pelat pracetak prategang lapisan bawah



Gambar 6. Potongan A-A



Gambar 7. Potongan B-B



Gambar 8. Potongan C-C

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis struktur jembatan *slab on pile* sungai Brantas dengan menggunakan metode pracetak pada proyek Tol Solo-Kertosono sta. 176+050 – sta. 176+375 didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Tebal rencana seluruh *full slab* adalah 350 mm.
2. Penulangan *full slab* untuk menahan momen positif menggunakan 14 *strand* diameter 12,7 mm dengan tambahan 14 Tulangan D13, sedangkan untuk momen negatif digunakan tulangan 18 D25 + 18 D16.
3. Tulangan susut pada arah melintang pelat digunakan tulangan diameter 13 dengan jarak 200 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Dipohusodo, Istimawan, 1999. *Struktur Beton Bertulang*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2004. *Standar Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan, RSNT – 12 – 2004*, BSN, Bandung.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2005. *Pembebanan Untuk Jembatan, RSNIT – 02 – 2005*, BSN, Bandung.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2011. *Perencanaan Struktur Beton Pratekan Untuk Jembatan*, BSN, Bandung.
- Lin, T.Y., dan Burns, N.H., 1996. *Desain Struktur Beton Prategang Jilid 1*, Erlangga, Jakarta.
- Nawy, Edward G., Suryatmono, Bambang, 2001. *Beton Prategang, Suatu Pendekatan Mendasar, Edisi Ketiga Jilid 1*, Erlangga, Jakarta.